

Ing. Federico Alberio  
f.alberio@fibrocev.it

Ing. Massimo Fumagalli  
m.fumagalli@fibrocev.it

**FIBROCEV**  
We build business in concrete

## PAVIMENTAZIONI IN FRC: caso applicativo di piastra in calcestruzzo fibrorinforzato con fibre in acciaio

Pavimentazioni in calcestruzzo fibrorinforzato per un nuovo stabilimento di 6.000 mq a destinazione logistica distributiva. Grazie all'utilizzo di fibre in acciaio FIBRAG® STEEL, è stato possibile realizzare una pavimentazione fibrorinforzata ad alta resistenza, ottimizzando i tempi realizzativi dell'opera e le scelte ingegneristiche.

### DESCRIZIONE DELL'OPERA

Come ben noto, con la pubblicazione della Circolare esplicativa delle NTC 2018, le pavimentazioni industriali sono diventate un elemento riconosciuto a tutti gli effetti nel mondo delle Costruzioni. Oggi, infatti, la progettazione di una pavimentazione industriale ha assunto un ruolo sempre più importante e di competenza di esperti del settore.

Il Dipartimento Tecnico di Fibrocev ha quindi come obiettivo principale quello di offrire ai propri Clienti un servizio etico e competente perseguendo la ricerca della massima qualità progettuale nel campo del calcestruzzo fibrorinforzato, garantita attraverso un accurato studio specifico per ogni caso in esame e grazie alla formazione continua e aggiornata dei propri tecnici. I sopralluoghi in cantiere, inoltre, sia in fase di costruzione che a lavori ultimati, hanno lo scopo per i tecnici di Fibrocev di "ascoltare" la struttura progettata e realizzata, per capirne il suo comportamento e farne bagaglio di esperienza continuo.

Date le particolari sollecitazioni gravanti sulla pavimentazione descritta, la soluzione in calcestruzzo fibrorinforzato è stata identificata come la migliore sia in termini realizzativi che prestazionali, garantendo un rinforzo tridimensionale nell'intera sezione del pavimento e contenendo quindi lo spessore dello stesso. Questo ha permesso, quindi, di dimezzare le tempistiche di realizzazione dell'opera salvaguardando inoltre gli aspetti di sostenibilità ambientale.



## IL PROGETTO DELLA PAVIMENTAZIONE

Attualmente, il progetto di una pavimentazione industriale assume un ruolo sempre più fondamentale in quanto, rispetto al passato, la stessa svolge di fatto la funzione di vera e propria fondazione dovendo sopportare carichi sempre più gravosi sia statici, dati da scaffalature di altezza sempre più importanti, che dinamici, dovuti al passaggio di mezzi di trasporto di grandi dimensioni.

Una non corretta progettazione di una piastra in calcestruzzo può provocare, quindi, danni molto importanti, oltre che da un punto di vista economico, anche e soprattutto per la sicurezza degli utilizzatori finali.

Per questo motivo, ascoltate le esigenze della Committenza e come è possibile vedere dettagliatamente nella successiva **Tabella 1**, lo Studio Tecnico Fibrocev ha seguito lo sviluppo del progetto, analizzando nel dettaglio l'area di intervento e valutato una soluzione in FRC considerando il contributo di fibre in acciaio FIBRAG® STEEL: F-W 50/50 MT.

## IL CALCESTRUZZO

Per la realizzazione di una buona pavimentazione industriale, deve essere posta particolare attenzione anche al mix design del calcestruzzo, in modo da garantire la corretta integrità della piastra sia durante le prime ore di maturazione del calcestruzzo che per preservarne la vita utile in relazione ai carichi agenti e al ritiro dello stesso.

Per questo motivo, assume sempre più un ruolo chiave la figura del Tecnologo del Calcestruzzo, il professionista che, come descritto in dettaglio nella Quarta Edizione del *Codice di Buona Pratica per pavimentazioni in calcestruzzo ad uso industriale* edito da Conpaviper, conosce nel dettaglio tutti i componenti del calcestruzzo ed è in grado di formularne o variarne la sua composizione o, meglio, di Progettare il composito calcestruzzo fibrorinforzato, adeguando il volume di pasta per ospitare l'aggiunta di fibre e studiandone e valutandone il suo ritiro.

## I getti

I getti per la realizzazione della pavimentazione sono stati eseguiti attraverso la fornitura di circa 1200 mc di calcestruzzo con successiva stesura meccanizzata.

## Le fibre

Per la realizzazione della pavimentazione fibrorinforzata sono state utilizzate le fibre strutturali **FIBRAG® STEEL: F-W 50/50**, fibra metallica fabbricata da filo in acciaio trafilato a freddo a basso tenore di carbonio per il rinforzo del calcestruzzo e altri conglomerati cementizi.

**FIBRAG® STEEL: F-W 50/50 MT** è la fibra in grado di migliorare notevolmente le proprietà meccaniche dei conglomerati cementizi, in particolare: la durabilità, incrementando la resistenza ultima a trazione e a fatica, e la duttilità del calcestruzzo.



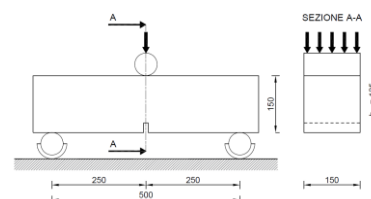
|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| Gruppo (EN 14889-1)      | I                       |
| Lunghezza (L)            | 50 mm                   |
| Diametro (D)             | 1,00 mm                 |
| Rapporto d'aspetto (L/D) | 50                      |
| Forma                    | Uncinata alle estremità |
| Resistenza a trazione    | 1.180 N/mm <sup>2</sup> |
| Numerosità               | 3.087 fibre/kg          |



## IL MODELLO DI CALCOLO

Il progetto di una pavimentazione industriale si basa sulla schematizzazione della piastra su un supporto continuo, in cui il terreno di sottofondo viene modellato come un insieme di elementi elastici indipendenti (teoria di Winkler) e si eseguono le verifiche allo Stato Limite di Esercizio (verifiche al gradiente termico e alla fessurazione da ritiro) e le verifiche allo Stato Limite Ultimo, confrontando il valore di progetto delle azioni sollecitanti con i corrispondenti valori resistenti ottenuti dalle resistenze residue del calcestruzzo fibrorinforzato e dell'eventuale armatura ordinaria.

Le analisi numeriche prevedono l'utilizzo di un legame costitutivo a trazione post-fessurazione determinato sulla base di prove sperimentali sul materiale fibrorinforzato in accordo con la normativa UNI EN 14651. Tale norma prevede lo svolgimento di prove sperimentali di flessione su tre punti di carico, condotte su elementi intagliati di dimensione 600x150x150mm, mediante i quali è possibile determinare le resistenze post-fessurazione  $f_{R1}$ , tipica per le condizioni di esercizio SLE, e  $f_{R3}$ , necessaria, invece, per le verifiche allo stato limite ultimo SLU.



**Figura 1.**  
Prova di trazione per flessione secondo UNI EN 14651

## LA TIPOLOGIA STRUTTURALE E LA SOLUZIONE PROGETTUALE

Per garantire le prestazioni richieste, il modello di calcolo ha restituito una soluzione progettuale fibrorinforzata considerando l'impiego di un calcestruzzo FRC per il raggiungimento di una classe di resistenza residua di 2.0c. Sulla base dei test a flessione secondo EN 14651 effettuati presso il Laboratorio interno Fibrocev, per il raggiungimento delle prestazioni indicate è stato previsto l'uso di fibre in acciaio strutturali **FIBRAG® STEEL: F-W 50/50 MT** in ragione di 25 kg/m<sup>3</sup> di calcestruzzo, confermate anche dai prelievi di calcestruzzo effettuati durante i getti della pavimentazione.

Grazie all'elevato grado di miscelabilità e di distribuzione uniforme all'interno della matrice cementizia, le fibre **FIBRAG® STEEL** forniscono un eccellente rinforzo tridimensionale della sezione, incrementando la resistenza ultima a trazione del calcestruzzo e controllando in maniera attiva il ritiro igrometrico del calcestruzzo, oltre a garantire una maggiore durabilità delle pavimentazioni stesse.

Come è possibile vedere nel dettaglio in **Tabella 1**, il Dipartimento di Progettazione di Fibrocev, ha analizzato nel dettaglio l'area di intervento, fornendo specifiche definizioni progettuali in funzione delle condizioni di carico e della tipologia e caratteristiche prestazionali del sottofondo, determinate attraverso apposite prove di carico su piastra secondo CNR B.U. n. 92/1983.

| AREE                      | CARICHI                   | CLS  | SPESS. | ARMATURA     |
|---------------------------|---------------------------|------|--------|--------------|
| <b>AREA 1</b>             | <b>UDL</b> 50.00 kN/mq    |      |        |              |
| PAVIMENTAZIONE            | <b>CL</b> 30.00 kN/app    |      |        | 25 kg/mc     |
| INTERNA                   | <b>DL-S</b> 36.00 kN/asse | 2.0c | 20 cm  | F-W 50/50 MT |
| $k = 0.08 \text{ N/mm}^3$ | <b>DL-P</b> 52.00 kN/asse |      |        |              |

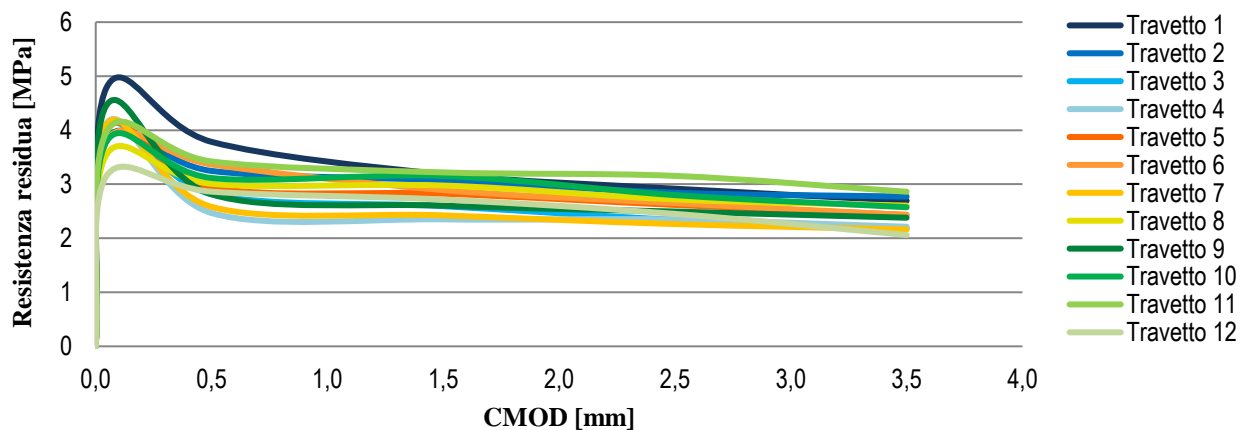
**Tabella 1.** Riepilogo della soluzione di progetto valutata per l'area di intervento. Si riportano sommariamente le principali richieste in termini di sottofondo di posa della piastra, i carichi limitanti e la relativa soluzione proposta (UDL: uniformly distributed loads, CL: concentrated loads, DL-S: dynamic loads on solid tyres, DL-P: dynamic loads on pneumatic tyres)

## FIBROCEV LAB

Durante la realizzazione della pavimentazione, si è proceduto al controllo prestazionale del composito fibrorinforzato secondo i dettami tecnici previsti al par. 10.1.4.1 del documento tecnico delle pavimentazioni in calcestruzzo CNR-DT 211/2014.

Di seguito si riportano i risultati delle prove a trazione per flessione secondo la norma UNI EN 14651, condotte a 28 giorni di maturazione, presso il Laboratorio Interno di Fibrocev.

| SIGLA        | RESISTENZA RESIDUA A FLESSIONE (MPa) |             |             |             |             |
|--------------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|              | LOP                                  | $f_{R,1}$   | $f_{R,2}$   | $f_{R,3}$   | $f_{R,4}$   |
| Travetto 1   | 4,82                                 | 3,78        | 3,19        | 2,92        | 2,69        |
| Travetto 2   | 3,84                                 | 3,25        | 3,07        | 2,84        | 2,77        |
| Travetto 3   | 4,05                                 | 2,82        | 2,59        | 2,34        | 2,18        |
| Travetto 4   | 4,15                                 | 2,47        | 2,35        | 2,35        | 2,21        |
| Travetto 5   | 4,04                                 | 2,94        | 2,83        | 2,62        | 2,43        |
| Travetto 6   | 3,82                                 | 3,37        | 2,89        | 2,65        | 2,43        |
| Travetto 7   | 4,13                                 | 2,58        | 2,42        | 2,26        | 2,16        |
| Travetto 8   | 3,57                                 | 3,01        | 2,98        | 2,72        | 2,60        |
| Travetto 9   | 4,48                                 | 2,81        | 2,60        | 2,49        | 2,38        |
| Travetto 10  | 3,81                                 | 3,12        | 3,15        | 2,80        | 2,57        |
| Travetto 11  | 4,00                                 | 3,42        | 3,22        | 3,15        | 2,86        |
| Travetto 12  | 3,18                                 | 2,86        | 2,72        | 2,45        | 2,06        |
| <b>Media</b> | <b>3,99</b>                          | <b>3,04</b> | <b>2,83</b> | <b>2,63</b> | <b>2,45</b> |



## CONCLUSIONI

Il progetto di una pavimentazione industriale è, al giorno d'oggi, un requisito fondamentale per la buona riuscita dell'opera e il punto di partenza per realizzare un lavoro controllato in ogni sua fase.

Le tecnologie messe a disposizione per conferire al calcestruzzo doti di elevata qualità e durabilità hanno reso possibile un nuovo e radicale cambiamento sia della progettazione sia nei tempi di realizzazione della pavimentazione industriale, permettendo di creare strutture con un elevato impatto estetico più performanti, più funzionali e con diminuzione dei costosi cicli di manutenzione.

Ciò permette di rispettare pienamente le ambiziose aspettative della Committenza, in quanto una soluzione in calcestruzzo fibrorinforzato FRC si dimostra sia tecnicamente molto valida, ma soprattutto economicamente vincente e vantaggiosa.

## I vantaggi con l'uso delle fibre FIBRAG® STEEL

I vantaggi di un calcestruzzo fibrorinforzato FRC per la realizzazione di una pavimentazione industriale sono molteplici e possono essere così riassunti:

- ✓ **riduzione** dei tempi di posa del calcestruzzo
- ✓ **elevate resistenze** residue del calcestruzzo
- ✓ **contrasto** dei fenomeni di **ritiro** del calcestruzzo
- ✓ **maggior resistenza** ai carichi dinamici e statici
- ✓ **maggior resistenza** all'impatto e alla caduta dei materiali
- ✓ **maggior durabilità** della pavimentazione
- ✓ **maggior resistenza** agli sbalzi termici della pavimentazione
- ✓ **omogeneità delle prestazioni** in tutta l'altezza della sezione

## LE FASI DI REALIZZAZIONE DELL'OPERA



Figura 2. Preparazione del sottofondo della pavimentazione



**Figura 3.** Prelievo di Fibrocev LAB dei campioni di FRC da sottoporre a prova di trazione per flessione secondo EN 14651



**Figura 4.** Prelievo di Fibrocev LAB dei campioni di FRC da sottoporre a prova di trazione per flessione secondo EN 14651



**Figura 5.** Set-Up prova di trazione per flessione secondo EN 14651



**Figura 6.** Set-Up prova di trazione per flessione secondo EN 14651



**Figura 7.** Vista della pavimentazione ultimata



**Figura 8.** Vista della pavimentazione ultimata